

Protocolo para avaliação do estoque de carbono e de nitrogênio do solo em sistemas florestais – Projeto Saltus



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Florestas
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 277

Protocolo para avaliação do estoque de carbono e de nitrogênio do solo em sistemas florestais – Projeto Saltus

Josiléia Acordi Zanatta
Karina Pulrolnik
João Herbert Moreira Viana

Embrapa Florestas
Colombo, PR
2015

Embrapa Florestas

Estrada da Ribeira, Km 111, Guaraituba,
83411-000, Colombo, PR - Brasil

Caixa Postal: 319

Fone/Fax: (41) 3675-5600

www.embrapa.br/florestas

www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

Comitê Local de Publicações

Presidente: Patrícia Póvoa de Mattos

Secretária-Executiva: Elisabete Marques Oaida

Membros: Elenice Fritzsos, Giselda Maia Rego, Ivar Wendling,

Jorge Ribaski, Luis Claudio Maranhão Froufe, Maria Izabel

Radomski, Maria Izabel Radomski, Susete do Rocio Chiarello

Penteado, Valderes Aparecida de Sousa

Revisão editorial: Patrícia Póvoa de Mattos

Normalização bibliográfica: Francisca Rasche

Editoração eletrônica: Rafaele Crisostomo Pereira

Fotos da capa: Karina Pulrolnik (acima, à esquerda), João Herbert

Moreira Viana (abaixo, à esquerda e à direita)

1ª edição - versão digital (2015)

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) Embrapa Florestas

Zanatta, Josiléia Acordi.

Protocolo para avaliação do estoque de carbono e de nitrogênio do solo em sistemas florestais: Projeto Saltus [recurso eletrônico] / Josiléia Acordi Zanatta, Karina Pulrolnik, João Herbert Moreira Viana. - Dados eletrônicos - Colombo : Embrapa Florestas, 2015.

(Documentos / Embrapa Florestas, ISSN 1980-3958 ; 277)

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web.

<<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/item/221>>

Título da página da web (acesso em 9 set. 2015).

1. Solo. 2. Carbono. 3. Nitrogênio. 4. Medição. I. Pulrolnik, Karina. II. Viana, João Herbert Moreira. III. Série.

CDD 631.4 (21. ed.)

Autores

Josiléia Acordi Zanatta

Engenheira Agrônoma, Doutora,
Pesquisadora da Embrapa Florestas
Colombo, PR

Karina Pulrolnik

Engenheira Florestal, Doutora,
Pesquisadora da Embrapa Cerrados
Planaltina, DF

João Herbert Moreira Viana

Engenheira Agrônomo, Doutor,
Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo
Sete Lagoas, MG

Apresentação

As florestas têm potencial reconhecido de contribuir com as ações compensatórias de mitigação das emissões de gases do efeito estufa (GEE) e mudanças climáticas (BRASIL, 2010). No entanto, ainda é desconhecida a magnitude da contribuição das florestas para o armazenamento de carbono e redução na emissão de GEE. O projeto Saltus, liderado pela Embrapa Florestas, pretende avaliar e sistematizar informações sobre a dinâmica dos estoques de carbono no solo e na vegetação, bem como monitorar a emissão de gases de efeito estufa, que permitam obter o balanço de carbono de florestas naturais, florestas plantadas comerciais puras e também em sistemas integrados que incluem cultivos de lavoura, pecuária e floresta. Os sistemas de uso com exploração comercial serão comparados ao sistema de uso inicial do solo. A estimativa do balanço de carbono das florestas requer uma sistematização do conhecimento existente e a obtenção de novas informações em áreas que representem a condição florestal atual do Brasil. Nesse sentido, os estudos desenvolvidos no Brasil para quantificar os estoques de carbono no solo e na vegetação apresentam caráter pontual e impedem a comparação e a generalização dos resultados para áreas maiores. Buscando cobrir lacunas de informações, o projeto Saltus atua em cinco Biomas (Pampa, Mata Atlântica, Cerrado, Pantanal e Amazônia), monitorando 15 unidades de estudo.

O tema também está inserido na Política Nacional sobre Mudanças do Clima (PNMC), sendo um dos componentes do Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura. Dentro das ações pertinentes ao plano ABC, a ampliação da área com floresta plantada deverá chegar a três milhões de hectares. Neste contexto, uma metodologia MRV (mensurável, reportável e verificável) está sendo estruturada e carece de critérios técnicos para contabilização das reduções das emissões de GEE e dos estoques de carbono.

Neste sentido, este documento foi elaborado para orientar as equipes de pesquisa da Rede Saltus quanto a procedimentos de coleta e análise das amostras de solo a fim de obter os resultados de estoques de carbono no solo, focando as particularidades de solos florestais.

Sergio Gaiad
Chefe de Pesquisa e Desenvolvimento
Embrapa Florestas

Sumário

1. Introdução	9
2. Objetivo	10
3. Método	11
3.1. Critérios técnicos para a seleção das áreas de estudo.....	11
3.2. Método de amostragem.....	14
3.2.1. Amostragem para determinação do teor de carbono orgânico e de nitrogênio total.....	14
3.2.2. Amostragem para determinação da densidade do solo e variáveis físico-hídricas.....	22
3.2.3. Amostragem para granulometria, densidade de partículas e atributos químicos do solo.....	25
3.3. Procedimentos analíticos laboratoriais	25
3.3.1. Determinação de carbono total e de nitrogênio total.....	25
3.3.2. Determinação de granulometria e densidade de partículas	26
3.3.3. Determinação de variáveis físico-hídricas e densidade do solo.....	27
3.4. Cálculo dos estoques de C e N.....	28
Referências	29

Protocolo para avaliação do estoque de carbono e de nitrogênio do solo em sistemas florestais – Projeto Saltus

Josiléia Acordi Zanatta

Karina Pulrolnik

João Herbert Moreira Viana

1. Introdução

Estudos com solos representam um desafio à comunidade científica, principalmente devido à presença de características não visíveis a partir da superfície do solo. Deste modo, muitas formas de avaliação podem ser empregadas e são igualmente corretas, mas a comparação entre elas poderá indicar resultados diversos e dificultar conclusões definitivas. Em uma amostragem de solo para análise dos estoques de carbono, a estratégia de coleta deve ser bastante planejada, pois é a única fase da avaliação que não poderá ser corrigida posteriormente. A estratégia de coleta inclui a seleção dos locais a serem avaliados, o tempo disponível para avaliação, a profundidade de interesse e as técnicas e ferramentas de coleta aplicadas.

Assim, é essencial desenvolver um método comum, simples e de baixo custo para avaliar os estoques de carbono e as taxas de acúmulo deste elemento no solo. O estabelecimento de protocolos de amostragem e procedimentos garante a possibilidade de comparação entre os ambientes avaliados. Diante deste entendimento, para o projeto Saltus foi estabelecido um conjunto mínimo de procedimentos a serem seguidos, os

quais foram direcionados ao atingimento dos seus objetivos. Todavia, poderá ser empregado por outras equipes com adaptações pertinentes à proposta de pesquisa. Este documento enfatiza a estratégia de amostragem, e visa orientar as medições e as análises relacionadas aos atributos do solo avaliados no projeto Saltus, especialmente aqueles relativos à determinação dos estoques de carbono no solo. Contudo, métodos para estimativa de outras variáveis de solo são também descritos, como a obtenção de propriedades físico-hídricas (densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade). O conteúdo de nitrogênio é um parâmetro que enriquece as discussões sobre acúmulo de carbono e pode até mesmo propiciar melhor entendimento do comportamento da dinâmica do carbono no solo. Por isso, este protocolo recomenda que sejam realizadas, em paralelo, avaliações dos estoques de nitrogênio no solo.

Este documento foi elaborado em consonância com os protocolos dos projetos correlatos Pecus e Fluxus (OLIVEIRA, 2014). Todavia, são consideradas questões específicas para solos florestais e sistemas integrados com florestas, temas não abordados pelos documentos anteriores. As estratégias de amostragem incluídas neste protocolo são consistentes com os princípios gerais do Guia do Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas, o que requer qualidade dos dados assegurada, em termos de coleta, documentação, arquivamento e recuperação, além de procedimentos padronizados para posterior uso destas informações em documentos oficiais do país, como os inventários de emissões e remoção de gases de efeito estufa (BRASIL, 2010).

2. Objetivo

Obtenção da estimativa dos estoques de carbono e nitrogênio total dos solos em áreas com sistemas florestais, por meio de amostragem em trincheira e por tradagem, e das medidas complementares associadas, necessárias aos cálculos de estoques desses elementos no solo.

3. Método

3.1. Critérios técnicos para a seleção das áreas de estudo

O local de coleta de amostras para quantificação de carbono (C) e nitrogênio (N) no solo será escolhido de forma conjunta com a escolha das áreas para a coleta de gases e quantificação da biomassa florestal (HIGA et al., 2014). Em cada um dos biomas pré-determinados no escopo do projeto serão levantadas regiões com plantios florestais, onde serão alocadas unidades de estudo para as avaliações dos estoques de C e N no solo. A escolha do local de coleta está vinculada à avaliação prévia de sua representatividade em termos locais e regionais, com base em consulta às informações disponíveis de bases de dados de solos e inventários florestais nas regiões estudadas. Esta representatividade deve contemplar as características físicas do local (classe de solo, geologia, topografia, posição na paisagem, microclima, etc.), e também de sistema de produção (material genético plantado, sistema de produção adotado, histórico da área, planejamento de uso, etc.).

Após esta seleção prévia, deve-se realizar uma visita à área e uma coleta preliminar de amostras do solo, para fins de avaliação do local e de verificação de sua conformidade com os critérios estabelecidos e objetivos do projeto. A escolha da(s) área(s) deverá levar em conta as peculiaridades de cada caso, podendo ser em experimentos (áreas experimentais) ou cronossequências de uso do solo com florestas (áreas comerciais). Para o caso específico de cronossequências, envolvendo plantios em diferentes idades, por exemplo, atenção especial deve ser direcionada para a escolha de locais com mesmo tipo de solo, composição granulométrica, posição na paisagem e histórico conhecido. Esta similaridade é condição essencial para a comparação dos locais posteriormente, pois estas variações intrínsecas a cada local afetam os estoques de C e N.

Recomenda-se que todas as áreas avaliadas tenham o número mínimo de três repetições para um mesmo tratamento ou parcela experimental. Para os estudos do projeto Saltus, recomenda-se que em cada área experimental sejam definidas pelo menos três parcelas com tamanho mínimo de 20 m x 30 m (600 m²) (ver Tabela 1 adiante). Tamanhos maiores podem ser estabelecidos, se a equipe achar conveniente.

Em cada parcela podem ser obtidas subamostras, para aumentar a representatividade da amostragem. O número de subamostras por parcela vai depender da uniformidade da área, a critério do investigador, mas deve ser o mais representativo possível.

Recomenda-se que todas as áreas avaliadas tenham previamente um estudo de caracterização pedológica, incluindo a classificação do solo até, no mínimo, 2º nível categórico (SANTOS et al., 2013), bem como histórico detalhado dos cultivos anteriores, doses e fontes de adubação, práticas de manejo adotadas e tempo de cultivo. Para ajudar na seleção das áreas a serem estudadas com mesmo tipo de solo, recomenda-se a participação na equipe de pesquisa de um especialista em pedologia, que consiga caracterizar adequadamente os solos das áreas de estudo.

Recomenda-se que seja identificada uma área de referência da condição original ou inicial da área de estudo. A área de referência será utilizada como linha de base para quantificar as mudanças nos estoques de carbono do solo, sendo preferencialmente uma área sob vegetação nativa ou uma área controle de uso do solo antes da conversão para florestas. Por exemplo, pode-se usar uma área de pastagem que foi convertida a algum tempo (anos) para cultivo de florestas plantadas e que uma parte da área foi mantida nas condições originais de cultivo de pastagem, sendo esta definida como área controle. Deve-se cuidar para que as variações naturais de solos, especialmente

em condições de relevo forte ondulado a montanhoso, não comprometam a escolha do local para a referência. É comum, principalmente quando a área de referência é floresta nativa, que estas estejam localizadas em áreas de reserva legal e/ou de preservação permanente (APP), e estejam em condições distintas das áreas usadas em plantios comerciais, principalmente de posição na paisagem.

Os pontos coletados devem ser georreferenciados e, preferencialmente, o contorno do talhão ou da área amostrada também deverá ser identificado digitalmente, de modo a situar a posição geral deste em mapas de localização. Recomenda-se utilizar datum WGS 1984. A posição geográfica deverá ser tomada tão precisa quanto possível, para permitir posteriormente o retorno ao local amostrado ou mesmo para se evitar amostragens futuras em locais já perturbados, no caso de experimentos. Os dados deverão ser registrados em combinação com outras informações de campo e arquivados no banco de dados do projeto Saltus.

Em relação ao número de parcelas a serem avaliadas dentro de sistemas florestais, recomenda-se a intensidade amostral sugerida por Stolbovoy et al. (2007) para estudos de carbono no solo em áreas homogêneas (Tabela 1).

Tabela 1. Número de parcelas amostrais a serem avaliadas em função do tamanho da área florestal.

Tamanho da área a ser representada	Número de parcelas recomendado
< 5 ha	3
5-10 ha	4
10-25 ha	5
> 25 ha	6

Fonte: Stolbovoy et al. (2007)

3.2. Método de amostragem

Para estimativa do estoque de carbono e nitrogênio do solo será necessário avaliar os seguintes parâmetros: teor de carbono ou nitrogênio, densidade do solo e espessura da camada. Para solos com pedras ou fragmentos grosseiros é necessário saber o volume destes componentes.

3.2.1. Amostragem para determinação do teor de carbono e de nitrogênio total

Para reduzir as variações temporais, a amostragem deverá ser realizada preferencialmente no período de menor atividade biológica, como no inverno e/ou na estação seca. Caso seja necessário repetir a amostragem na área, esta deverá ser realizada no mesmo período do ano ou estação em que foi realizada a amostragem inicial. O período de amostragem deve ser reportado.

O posicionamento de cada parcela no povoamento deve levar em conta a homogeneidade da floresta e a representatividade em relação aos pontos de coleta de gases. Para cada parcela amostrada serão obtidas amostras compostas para análise do teor total de C e N. As amostras compostas devem conter entre 300 e 500 g de solo seco. Esta massa produz material suficiente para todas as análises e ainda permite estocagem de material para estudos futuros. As subamostras que formarão a amostra composta devem ter massa equivalente entre si.

As amostras de solo serão obtidas por meio de gradagem e adicionalmente por coleta em trincheiras, considerando as camadas de 0 a 5 cm, 5 a 10 cm, 10 a 20 cm, 20 a 30 cm, 30 a 40 cm, 40 a 60 cm, 60 a 80 cm e 80 a 100 cm (Figura 1). A subdivisão das camadas intermediárias entre 30-60 cm e 60-100 cm pode ser ajustada de acordo com a conveniência do pesquisador, mas recomenda-se manter os limites de 30 cm, 60 cm e 100 cm, possibilitando assim a comparação dos estoques por tipo de solo entre os ambientes nas camadas de 0-30, 0-60 e 0-100 cm.

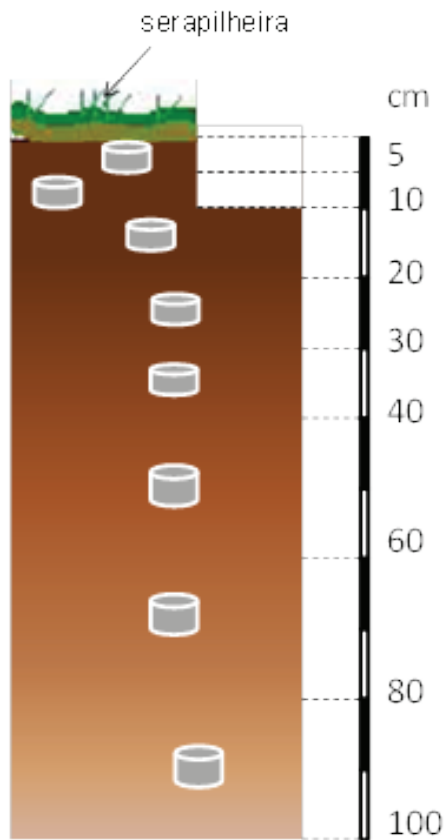


Figura 1. Estrutura principal e esquema de amostragem do perfil do solo.

Para a coleta em trincheira, recomenda-se a abertura da mesma com pás ou outro equipamento que não perturbe o local de amostragem. A trincheira poderá ter 1,0 m nas laterais e 1,2 m de profundidade. Recomenda-se preservar, no momento da abertura, no mínimo duas paredes da trincheira para coleta das amostras (Figura 2a). A amostragem do solo inicia com a retirada da camada de serapilheira sobre o solo. Com o solo exposto pode-se marcar com régua as camadas de interesse no perfil e iniciar o procedimento de retirada das amostras (Figura 2b). As amostras podem ser obtidas com auxílio de espátula, considerando coletar o volume integral de solo contido numa área equivalente a 10 cm x 20 cm nas camadas até 30 cm e não inferior a 10 cm x 10 cm nas camadas inferiores. O solo coletado deve ser homogeneizado em bandejas ou baldes plásticos e o excesso de solo pode ser descartado ainda em campo.



Figura 2. Trincheira aberta para coleta de amostras em duas posições (a); delimitação esquemática das profundidades de coleta (b) e amostra coletada com trado holandês e identificação da amostra (c).

Durante os procedimentos de coleta, cuidado especial deve ser tomado para a obtenção das amostras das camadas superficiais, principalmente 0-5 e 5-10 cm. Em sistemas florestais há elevado aporte de serapilheira. Em algumas situações, a espessa camada de serapilheira mais decomposta pode dificultar a separação, principalmente pela presença de raízes que formam um contínuo com a camada superficial do solo. No momento da retirada da

serapilheira, esta deve ser cortada, para evitar que as raízes perturbem a camada de solo mineral a ser amostrada. Outra preocupação com a amostragem de camadas superficiais em solos florestais é a presença de restos da colheita, como galhos e troncos (fragmentos de madeira). A presença de fragmentos destes materiais na amostra de solo a ser analisada, mesmo em baixa quantidade, poderá resultar em teores de carbono superestimados. A presença de fragmentos de carvão, provenientes de fogo natural ou acidental na área, também deve ser identificada. O ideal é avaliar locais isentos da presença destes resíduos, cujos efeitos apenas serão incorporados ao estoque de carbono no solo em longo prazo.

Além disso, nas coletas com o trado holandês, deve haver o cuidado para não se contaminar as amostras das camadas inferiores com solo das camadas superficiais, que geralmente têm maiores teores de carbono. Para realizar a coleta facilmente, recomenda-se que a condição de umidade do solo permita a separação nas camadas de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm. Quando não for possível, devido ao solo estar muito seco e se esboroar facilmente (ou quando estiver duro demais para permitir o uso do trado), recomenda-se abrir pequenas trincheiras para coleta das amostras até 30 cm, e abaixo desta continuar a coleta com trado.

O material coletado para análise de C e N, das trincheiras ou por tradagem, deve ser armazenado em sacos plásticos devidamente identificados (Figura 2c) e levado ao laboratório para secagem e posterior processamento. A secagem pode ser realizada ao ar ou em estufa com circulação forçada a 45 °C. Recomenda-se que o tempo entre a coleta e a secagem do material seja o menor possível, não sendo superior a cinco dias. O solo coletado deve ser destorroado e passado em peneira de 2 mm. Caso o volume de pedras ou fragmentos seja significativo (> 1% em massa), estes deverão ser quantificados para correção do volume de solo.

O número de subamostras que comporão as amostras compostas de cada parcela para as análises de C e N merece especial atenção e pode variar conforme o sistema adotado. A seguir são apresentadas recomendações gerais quanto ao número mínimo de amostras a serem consideradas em cada tipo de floresta, o qual poderá ser alterado se a equipe de pesquisa julgar adequado.

a) Amostragem em florestas plantadas

Cada parcela constituirá um conjunto de 24 amostras compostas, sendo oriundas de três posições em relação ao alinhamento das árvores e em oito camadas, já descritas anteriormente. As posições na parcela corresponderão a amostras retiradas: i) do centro das entrelinhas de plantio das árvores; ii) a 1/4 (25%) da largura das entrelinhas de plantio e, iii) na linha de plantio. O esquema das posições a serem avaliadas está ilustrado na Figura 3.

Em cada uma das três posições deverão ser obtidas três amostras simples por profundidade, para compor uma amostra composta. As amostras simples poderão ser coletadas com trado holandês, exceto uma amostra da posição 1/4 da entrelinha e uma amostra da linha de plantio, onde as amostras simples serão coletadas na trincheira ($\approx 1 \text{ m}^3$). A partir desta trincheira também serão obtidas as amostras indeformadas para densidade do solo e outros atributos, conforme decisão da equipe, respeitando-se as posições de coleta.

Salienta-se que para as florestas plantadas, onde o desbaste de linhas já foi empregado, a variabilidade espacial dos teores de C e N na área poderá ser maior e, portanto, maior número de subamostras deve ser considerado para a formação de uma amostra composta, a ser definido a critério da equipe responsável.

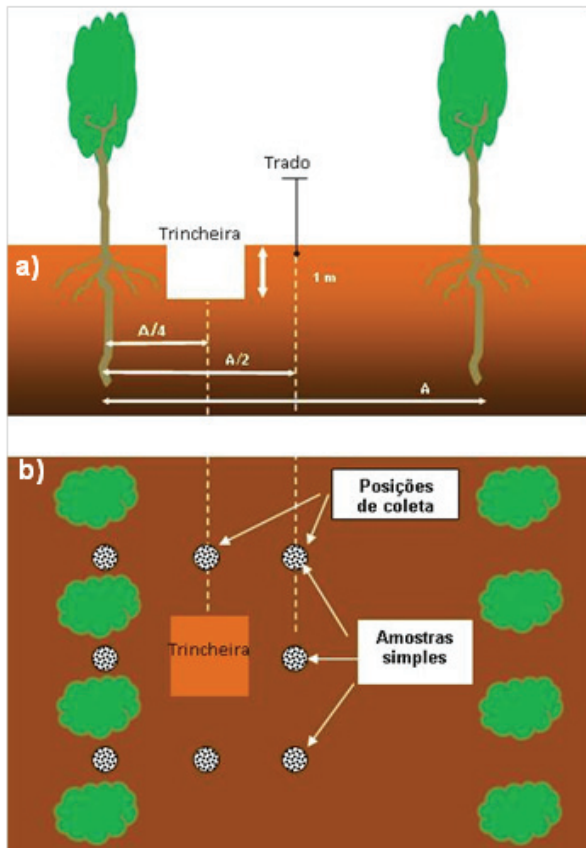


Figura 3. Disposição dos pontos de coleta de amostras de solo em florestas plantadas. "A" corresponde à distância de entrelinhas de plantio (a). Visão esquemática dos pontos de coleta na linha de árvores, na linha central e a 1/4 da entrelinha (b).

b) Amostragem em sistemas integrados com árvores (integração lavoura-pecuária-floresta - ILPF)

Para cada uma das repetições de um mesmo tratamento ou parcela experimental, será aberta uma trincheira (Figura 2) no ponto central do entrerrenque (Figura 4), onde serão coletadas amostras indeformadas para cada profundidade estudada. Ao redor desta trincheira serão amostrados 20 pontos equidistantes, na área sob lavoura ou pastagem, para compor uma amostra composta para as profundidades de 0-5 cm; 5-10 cm; 10-20 cm e 20-30 cm. Para cada uma das profundidades de 30-40 cm; 40-60 cm; 60-80 cm e 80-100 cm será coletada uma amostra composta de quatro subamostras distribuídas entre os vinte pontos amostrados anteriormente (Figura 4). Na área da parcela sob árvores, com linhas duplas ou múltiplas de árvores, a amostragem será realizada da mesma forma que a amostragem de florestas plantadas (Figura 3). Caso o sistema seja com linhas simples de árvores, será amostrada a posição na linha de plantio, ou seja, entre duas árvores. Neste caso, deverão ser tomadas três amostras simples na linha de árvores para formar uma amostra composta para cada profundidade (0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, 40-60 cm, 60-80 cm e 80-100 cm). Semelhante ao indicado para a posição entrelinhas, coletar nas posições meio e 1/4 da distância entre linhas de árvores. As amostras de solos sob lavoura ou pastagem e sob árvores deverão ser analisadas separadamente.

c) Amostragem em florestas naturais ou em áreas de referência

As áreas naturais, dependendo do bioma, apresentam elevada variabilidade espacial das variáveis de solo. Para a amostragem com fins de determinação dos teores de C e N recomenda-se que o número de amostras seja similar ou superior aquele obtido para as florestas plantadas (3 amostras compostas por parcela e por profundidade). No caso de florestas naturais, cada amostra composta deve ser formada por cinco amostras simples, distribuídas aleatoriamente na área da parcela, buscando-se

sempre atender as variações da parcela. É importante lembrar que uma amostra composta sairá da trincheira, onde poderão ser obtidas amostras de mais de uma parede da trincheira. Recomenda-se, no mínimo, uma trincheira por parcela de floresta natural ou três trincheiras por área de referência.

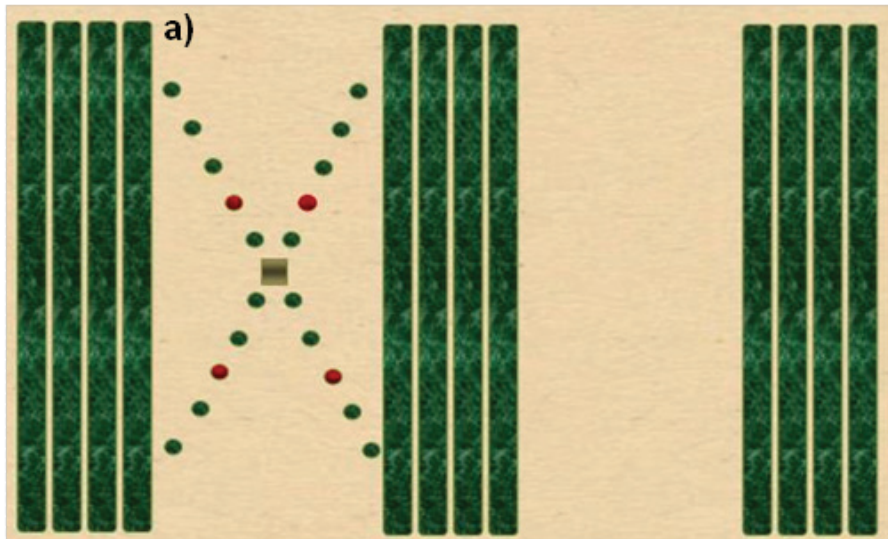


Foto: Fabiano Bastos



Figura 4. Disposição dos pontos de coleta de amostras de solo na área de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF). Pontos de coleta de coloração vermelha: 0-5 cm; 5-10 cm; 10-20 cm; 20-30 cm; 30-40 cm; 40-60 cm; 60-80 cm e 80-100 cm de profundidade.

3.2.2. Amostragem para determinação da densidade do solo e variáveis físico-hídricas

A densidade do solo é necessária para a estimativa dos estoques de C e N. Para a determinação da densidade do solo é necessário obter a massa seca de uma amostra de solo de volume conhecido. A técnica do cilindro volumétrico ou anel de Kopecky é a mais empregada neste caso e tem como vantagem a possibilidade de agregar a obtenção de indicadores físico-hídricos, importantes para a caracterização do solo e necessários como variáveis de entrada para modelos de simulação da dinâmica de C e de gases de efeito estufa. Neste protocolo será descrito o método em que a análise da densidade é associada à obtenção da porosidade total, da macro e da microporosidade do solo.

Amostras indeformadas, com no mínimo 100 cm^3 , deverão ser obtidas nas mesmas camadas especificadas anteriormente para análise dos teores de C e N (Figura 1). Como o coeficiente de variação desta análise é bastante alto, recomenda-se coletar dois anéis por camada de solo amostrada em cada trincheira. As amostras indeformadas deverão ser retiradas centralizando os cilindros na camada de solo amostrada. Geralmente, usam-se anéis de 35 mm de altura para camada de solo de espessura de 5 cm e anéis de 50 ou 75 mm para camadas de solo mais espessas que 5 cm (10 e 20 cm). O procedimento de coleta dos cilindros e o toailete estão ilustrados nas figuras 5a-j. Os cilindros devem ser cravados no solo com auxílio de um batedor de anéis. Muito cuidado deve ser empregado para se evitar a compactação da amostra dentro do anel, sendo recomendada a remoção gradual de solo ao redor do anel, à medida que este é cravado, para facilitar sua inserção. A retirada do cilindro com solo pode ser feita com auxílio de espátula e faca, liberando inicialmente as laterais. O toailete consiste em retirar com auxílio de lâmina afiada (faca ou estilete) o excesso de solo das extremidades do anel, deixando apenas o solo que preenche o anel (Figura 5g).

Fotos: Josiléia Acordi Zanatta



Figura 5. Coleta de amostras para análise da densidade do solo por anéis volumétricos. a) Limpeza do local; b-d) Posicionamento do anel e inserção por pressão com batedor; e) Anel cravado no solo; f-g) Retirada do anel com amostra; h-j) Toalete e embalagem.

Em seguida, os anéis devem ser embalados para transporte em cápsulas de alumínio com tampa ou outro material igualmente adequado. Se ainda necessário, um toailete final pode ser executado no laboratório. Caso a equipe opte por não realizar o toailete de imediato, recomenda-se que os anéis com as amostras sejam embalados em plástico filme e preservados em geladeira, para manutenção da umidade.

Caso alguma área tenha conteúdo de cascalho que impeça a coleta por meio do anel, pode ser usado o método do torrão ou monólito, conforme procedimentos descritos por Viana (2008).

As mesmas amostras coletadas nos anéis volumétricos podem ser utilizadas para análises de variáveis físico-hídricas do solo: condutividade hidráulica, macroporosidade, microporosidade e porosidade total. Caso a opção seja realizar apenas a análise de densidade do solo, o toailete pode ser realizado em campo e o solo contido no anel pode ser transferido para sacos plásticos. No laboratório, o solo deve ser seco em estufa a 105 °C por 48h ou até massa constante. A densidade do solo será estimada pela relação entre a massa de solo seco e o seu volume (estimado pelo volume do anel). O anel usado nas coletas deverá ser medido com paquímetro, para a determinação do seu volume interno.

A macro e a microporosidade devem ser determinadas pelo método da mesa de tensão ou por câmara de Richards, com o volume de macroporos correspondente à massa de água retida entre 0 e -6 kPa, e o de microporos à água retida a tensões inferiores a -6 kPa. A porosidade total será estimada a partir do volume de água do solo saturado (0 kPa). Todas as determinações seguem o manual de métodos da Embrapa (DONAGEMMA et al., 2011).

3.2.3. Amostragem para granulometria, densidade de partículas e atributos químicos do solo

As mesmas amostras coletadas para determinação dos teores de carbono e nitrogênio serão usadas para a análise granulométrica, densidade de partícula e de variáveis químicas (macronutrientes e indicadores de acidez). A fração grosseira (> 2 mm) deve ser quantificada e reportada, antes do preparo da terra fina seca ao ar.

Uma amostra composta de cada profundidade por parcela deverá ser constituída para a análise da granulometria e densidade de partículas.

A determinação dos atributos químicos do solo deverá ser realizada nas mesmas amostras coletadas para determinação dos teores de carbono e nitrogênio (métodos de rotina, DONAGEMMA et al., 2011). Comumente são realizadas as análises de indicadores de acidez ($\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$, pH SMP , $\text{H} + \text{Al}$) e de macronutrientes (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , P), conforme os procedimentos e métodos recomendados para cada região do Brasil.

3.3. Procedimentos analíticos laboratoriais

3.3.1. Determinação de carbono total e de nitrogênio total

Para o preparo das amostras para determinação de carbono e de nitrogênio totais do solo, deve ser feita a remoção de raízes que estejam visíveis nas amostras com o auxílio de peneiras e de catação manual. As amostras, após secas, devem ser peneiradas com malha 2 mm, passando a serem consideradas como terra fina seca ao ar (TFSA).

Para análise de C e N, uma subamostra homogênea, de aproximadamente 5 cm^3 , deverá ser moída finamente. Toda a porção da subamostra deve passar por peneira 100 mesh (< 150 μm), sendo que o material grosseiro não pode ser descartado, mas sim moído até passar na peneira. Para a moagem podem ser adotados moinhos de pistilo ou de bolas ou grau (almofariz) de ágata. Uma alternativa para aumentar a

produtividade é usar um moinho múltiplo do tipo descrito por Arnold e Scheppers (2004).

A análise dos teores de C deve ser feita por método para carbono total do tipo calcinação, por autoanalisador de C total (NELSON; SOMMERS, 1996) ou analisador elementar (CHNS). O nitrogênio total deve ser feito pelo método semi-microkjeldahl (BREMNER, 1965) ou eventualmente pelo analisador elementar (CHNS).

3.3.2. Determinação de granulometria e densidade de partículas

A análise granulométrica deve ser efetuada pelo método da pipeta, conforme o manual de métodos da Embrapa (DONAGEMMA et al., 2011), com as modificações propostas em Almeida et al. (2012). A determinação da composição granulométrica baseia-se no peneiramento úmido da fração areia e na velocidade de sedimentação das partículas silte e argila em água e tem a fundamentação teórica baseada na Lei de Stokes. Uma discussão mais aprofundada da metodologia pode ser verificada em Amaro Filho (2008).

O método para determinação da granulometria utiliza dispersante químico associado à agitação mecânica para completa dispersão das partículas de solo. Após a separação da areia, e transcorrido o tempo para decantação da fração de tamanho silte, retira-se uma alíquota da suspensão que será seca em estufa para determinação do conteúdo de argila.

As frações granulométricas serão subdivididas em: areia, que compreende partículas entre 0,05 a 2 mm; silte de 0,002 a 0,05 mm e argila, partículas < 0,002 mm.

Atenção especial deve ser dada aos procedimentos padronizados para determinação da granulometria, principalmente para camadas superficiais de solos florestais que apresentem teores de matéria orgânica do solo elevado (ALMEIDA et al., 2012).

A densidade de partícula deverá ser determinada pelo descrito em Donagemma et al. (2011), no qual álcool etílico é empregado para completar o volume de um balão volumétrico, que contém o solo seco em estufa.

3.3.3. Determinação de variáveis físico-hídricas e densidade do solo

Todas as determinações físico-hídricas (porosidade total, macro e microporosidade) e densidade do solo serão realizadas na amostra indeformada coletada com cilindro volumétrico. As metodologias seguem procedimentos descritos no manual de métodos da Embrapa (DONAGEMMA et al., 2011).

Após o toailete do solo contido nos cilindros volumétricos, estes devem ser colocados em uma bandeja para saturação com água. Gradativamente, deve-se aumentar a coluna de água da bandeja, até atingir a parte superior dos anéis. Os mesmos devem ficar saturando por 24 h. Após este período, devem ser levados à mesa de tensão ou à câmara de Richards, previamente preparadas para a determinação da macroporosidade (coluna de 60 cm ou -6 KPa). Após a passagem pela mesa ou pela câmara, o solo será seco em estufa a 105 °C. A diferença de massa entre a pesagem da amostra saturada e após a passagem pela tensão de -6 KPa corresponde à saída da água de macroporos e a diferença de massa do solo seco em estufa e aquela após a mesa de tensão ou câmara de Richards corresponde ao volume de microporos. A porosidade total será obtida pela soma da macro e microporosidade.

Alternativamente, a porosidade total também pode ser obtida utilizando-se o cálculo que envolve a densidade do solo e a densidade de partículas ($PT, \% = [1 - (D_s/D_p)] \times 100$). Alguns grupos de pesquisa, devido a problemas na pesagem do solo saturado, preferem obter a macroporosidade pelo método de cálculo através da porosidade total. Inicialmente, obtém-se a porosidade total e por diferença da microporosidade (obtida por pesagem como descrito anteriormente), obtém-se a macroporosidade.

A densidade do solo será estimada pela relação entre a massa de solo seco contida no anel e o volume de solo (correspondente ao volume interno do anel). A massa das amostras será determinada após secagem em estufa a 105 °C por 48 h ou até massa constante.

3.4. Cálculo dos estoques de C e N

O total de C e de N acumulados (estoque), em cada camada dos perfis de solo, será calculado pelo método da massa equivalente de solo, utilizando-se, preferencialmente, a massa de solo do sistema de vegetação natural como referência no cálculo (SISTI et al., 2004), conforme apresentado a seguir:

$$\text{Estoque C solo (Mg ha}^{-1}\text{)} = \sum_{i=1}^{n-1} CT_i + \left[MT_n - \left(\sum_{i=1}^n MT_i - \sum_{i=1}^n MS_i \right) \right] \times CT_n$$

onde:

$\sum_{i=1}^{n-1} CT_i$ - soma do estoque de C (Mg ha⁻¹) da camada superficial até a penúltima camada do tratamento;

MT_n - massa de solo (Mg ha⁻¹) da camada mais profunda do tratamento;

$\sum_{i=1}^n MT_i$ - soma da massa de solo (Mg ha⁻¹) da camada superficial até a última camada (mais profunda) no tratamento;

$\sum_{i=1}^n MS_i$ - soma da massa de solo (Mg ha⁻¹) da camada superficial até a última camada (mais profunda) no tratamento de referência;

CT_n - concentração de C (Mg Mg⁻¹ solo) na camada mais profunda do tratamento.

Referências

ALMEIDA, B. G.; DONAGEMMA, G. K.; RUIZ, H. A.; BRAIDA, J. A.; VIANA, J. H. M.; REICHERT, J. M. M.; OLIVEIRA, L. B.; CEDDIA, M. B.; WADT, P. S.; FERNANDES, R. B. A.; PASSOS, R. R.; DECHEN, S. C. F.; KLEIN, V. A.; TEIXEIRA, W. G. **Padronização de métodos para análise granulométrica no Brasil**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2012. 11 p. (Embrapa Solos. Comunicado técnico, 66). Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/950832/1/ComTec66AnaliseGranulometrica.pdf>> .

AMARO FILHO, J.; ASSIS JUNIOR, R. N.; MOTA, J. C. A. **Física do solo: conceitos e aplicações**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2008.

ARNOLD, S. L.; SCHEPERS, J. S. A simple roller-mill grinding procedure for plant and soil samples. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 35, p. 537-545, 2004. DOI: 10.1081/CSS-120029730

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Coordenação Geral de Mudanças Globais de Clima. **Segunda comunicação nacional do Brasil à convenção-quadro das Nações Unidas sobre mudanças do clima**. Brasília, DF, 2010. 2 v.

BREMNER, J. M. Total nitrogen. In: PAGE, A. L. (Ed.). **Methods of soil analysis**: Madison: American Society of Agronomy: Soil Science Society of America, 1965. p. 1149-1178. (Agronomy, 9). Part 2: Chemical and microbiological properties.

DONAGEMMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p. (Embrapa Solos. Documentos, 132). Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/990374/1/ManualdeMtodosdeAnilisedeSolo.pdf>> .

HIGA, R. C. V.; CARDOSO, D. J.; ZANATTA, J. A.; PULROLNIK, K.; NICODEMO, M. L.; GARRASTAZU, M.; VASCONCELLOS, S.; SALIS, S. M. **Protocolo de medição e estimativa de biomassa e carbono florestal**. Colombo: Embrapa Florestas, 2014. 68 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 266). Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1011409/1/Doc.266.pdf>> .

NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: SPARKS, D. L.; PAGA, A. L.; HELMKE, P. A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P. N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C. T.; SUMMER, M. E. (Ed). **Methods of soil analysis**. Madison: Soil Science Society of America: American Society of Agronomy, 1996. p. 961-1010. Part 3: Chemical methods.

OLIVEIRA, P. P. A. (Ed.). **Protocolo para quantificação dos estoques de carbono do solo da Rede de Pesquisa Pecuária**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2014. 21 p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Documentos, 116). Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1006926/1/Documentos116.pdf>> .

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 306 p.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, n. 1, p. 39-58, 2004. DOI: 10.1016/j.still.2003.08.007

STOLBOVOY, V.; MONTANARELLA, L.; FILIPPI, N.; JONES, A.; GALLEGU, J.; GRASSI, G. **Soil sampling protocol to certify the changes of organic carbon stock in mineral soil of the European Union**: version 2: EUR 21576 EN/2. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2007. 56 p.

VIANA, J. H. M. **Determinação da densidade de solos e de horizontes cascalhentos**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. 11 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado Técnico, 154). Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/491716/1/Com154.pdf>>

Embrapa

Florestas